

应用技术

润滑冷却介质对刀具与木材表面之间摩擦系数的影响

彭晓瑞, 张占宽, 李伟光, 王宝刚

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 在柚木、樟子松、杉木木材表面, 分别喷或刷涂液体石蜡、石墨粉末、聚四氟乙烯(PTFE)粉末及两者混合物, 切削油、水性切削液、纳米级亲金属切削油等润滑冷却介质, 评估介质对刀具与木材表面之间摩擦系数的影响。结果表明: 石墨粉末、PTFE粉末及两者混合物、切削油等介质可减小刀具与木材表面之间的摩擦系数, 其中石墨与PTFE粉末混合物的润滑作用相对明显。

关键词: 润滑冷却介质; 刀具; 木材; 摩擦系数

中图分类号: TG501.5; TS643

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2012)05-0052-04

Influence of Lubricating and Cooling Mediums on Frictional Coefficient during Wood Cutting

PENG Xiao-rui, ZHANG Zhan-kuan, LI Wei-guang, WANG Bao-gang

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Wood cutting lubricants protect cutting tools and reduce heat generated during the wood cutting process. Frictional coefficients during cutting three species of wood samples, with the presence of selected lubricants, were evaluated in this study. The results showed that graphite powder, polytetrafluoroethylene powder and their mixtures, and cutting oil considerably reduce the frictional coefficient.

Key words: lubricating and cooling medium; cutting tool; wood; friction coefficient

木材加工刀具高速旋转切削时,在锯片与木材之间因摩擦将产生大量热量,一方面使刀具变形、失稳,从而导致加工过程能耗高,工件质量差,锯片使用寿命缩短;另一方面,致使木材内部的树脂大量析出,粘附于锯片表面,从而影响刀具的后续使用。合理使用润滑冷却介质,可有效减小刀具与木材工件之间的摩

擦,降低刀具与工件之间的相互作用力,减少刀具磨损;同时还可以控制锯片升温,阻止木材内部的树脂析出及粘附于锯片表面,从而延长刀具的使用寿命,降低生产成本,提高生产效率^[1-3]。

常用的润滑冷却介质有液体、固体、气体及其混合物等几种形式^[4-5]。其中,液体润滑冷却介质主要包括:液体石蜡、水性切削液、离子润滑剂、切削油等^[6-8],润滑、冷却效果良好;石墨粉末和聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene, PTFE)粉末是两种常用的固体润滑冷却介质组成成分^[9],减摩和润滑作用较好。

收稿日期: 2012-02-18; 修改日期: 2012-07-13

基金项目: 林业公益性行业科研专项经费项目(201004006)。

作者简介: 彭晓瑞(1984—),女,中国林科院木材工业研究所实习研究员,硕士。

通讯作者: 张占宽,男,中国林科院木材工业研究所研究员,博士。

已有文献中,对金属、石材加工用润滑冷却介质的研究有详细的报道^[10-11],但木材加工用润滑冷却介质的研究相对甚少。基于此,笔者选取6种不同的润滑冷却介质,经单独或混合使用,对锯片或木材表面进行喷(刷)涂处理,考察其对刀具与木材表面之间润滑作用的影响,为合理选用润滑冷却介质提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 试材:选用木材加工生产常用的3种木材,柚木(*Tectona grandis*)、樟子松(*Pinus sylvestris*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*),外购,气干含水率约9%,其平均密度分别为0.65、0.42、0.37 g/cm³。3种试材均加工成50 mm×50 mm×20 mm的试件各27块,共计81块。

2) 刀具(锯片):硬质合金圆锯片,基体材料为65Mn,刀头材料为YG6X(硬度91 HRA,抗弯强度1.32 GPa),锯身厚度2.2 mm。

3) 润滑冷却介质:均为市购,种类和物理性质列于表1。

表1 润滑冷却介质的种类及物理性质

Tab. 1 Physical properties of wood cutting lubricants

介质种类	物理性质
液体石蜡	无色透明油状液体,相对密度(d _{20/4}): 0.86 g/cm ³ ,馏出温度>300 ℃
石墨粉末	粒径 5~20 μm
PTFE 粉末	平均粒径<5 μm,纯度 99.5%以上,比表面积>10 m ² /g
切削油	浅黄色接近无色液体,闪点 160 ℃,无毒无刺激性气味,运动黏度 6 mm ² /s
水性切削液	无色液体,无毒无刺激性气味,运动黏度 3.7 mm ² /s,浓缩液 pH 值为 9.5
纳米级亲金属切削油	浅黄色液体,沸点 180 ℃

1.2 试验方法

摩擦系数是表征木材加工中刀具与木材表面之间冷却润滑性能的重要指标^[12]。相对于金属、石材、陶瓷等材料而言,木材为各向异性材料且含有树脂,树脂析出后常粘附于金属刀具表面,影响刀具的使用寿命。因此,试验分别采用新锯片及表面粘附有树脂的旧锯片为测试对象,模拟木材锯切加工过程中的实际状态,测试木材与锯片之间的静摩擦系数(简称摩擦系数),以表征润滑冷却介质的使用效果。

摩擦系数测力系统如图1所示,包括:TMY摩擦系数测定仪、分度值≥2.45 N的水平型拉力计;61.3 N的重块砝码、4S橡胶(75 mm×75 mm×3 mm)。将橡胶块与胶合板(200 mm×200 mm×20 mm)粘接在一起组成滑块组件,胶合板一端用一个环形螺钉固定,用于拉力连接。

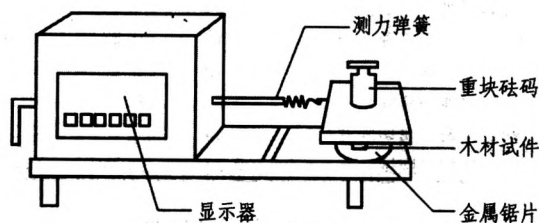


图1 摩擦系数测力系统

Fig. 1 Set-up for determining frictional force

测试步骤:将锯片放置于工作台上,根据试验需要在锯片局部或木材试件表面分别喷(刷)涂润滑冷却介质,使其表面形成均匀的薄膜(层);然后依次放置木材试件和滑块组件,通过拉力计拖动木材试件及滑块组件,使其与锯片间产生相对运动趋势。当两者发生相对运动时,测力系统即测出锯片与木块之间的摩擦系数。

1.3 测试方法

参照 GB/T 10006-1988《塑料薄膜和薄片摩擦系数测定方法》进行。采用测力系统,分别测试3种木材与新、旧锯片之间的摩擦系数。每种木材取3块试件,在每个试件的测试面上测试4次,取平均值,得到在某种润滑冷却介质的作用下,锯片与木材表面之间的摩擦系数。

2 结果与讨论

在不同润滑冷却介质作用下,3种木材与新、旧锯片之间摩擦系数的测定结果,列于表2。

表 2 不同润滑冷却介质时三种木材与锯片之间的摩擦系数

Tab. 2 Frictional coefficients under different lubricants

润滑冷却 介质种类	杉木			樟子松			柚木		
	新锯片	旧锯片		新锯片	旧锯片		新锯片	旧锯片	
		无树脂区	有树脂区		无树脂区	有树脂区		无树脂区	有树脂区
液体石蜡	0.25	0.40	0.37	0.24	0.38	0.36	0.26	0.39	0.37
石墨粉末	0.22	0.28	0.25	0.21	0.27	0.24	0.19	0.25	0.23
PTFE 粉末	0.14	0.26	0.19	0.14	0.25	0.18	0.13	0.24	0.16
液体石蜡+石墨粉末	0.21	0.36	0.29	0.22	0.35	0.29	0.23	0.36	0.28
石墨粉末+PTFE 粉末	0.12	0.22	0.17	0.11	0.19	0.17	0.11	0.18	0.15
切削油	0.19	0.28	0.25	0.16	0.24	0.25	0.14	0.23	0.24
水性切削液	0.27	0.39	0.38	0.26	0.36	0.37	0.25	0.36	0.36
纳米级亲金属切削油	0.24	0.39	0.25	0.22	0.38	0.27	0.19	0.37	0.28
未处理对照试件	0.23	0.34	0.35	0.21	0.34	0.33	0.21	0.34	0.33

2.1 三种木材表面与锯片之间的摩擦系数

2.1.1 杉木表面与锯片之间的摩擦系数

由表 2 可见,未处理的杉木试件与旧锯片无树脂部位、有树脂部位之间的摩擦系数相对较大,分别比其与新锯片的摩擦系数大约 32%、34%。这可能与新锯片表面本身附着一层较薄的保护油膜有关(即使经过试验前处理,仍有微膜存在)。

当采用不同润滑冷却介质对锯片与杉木表面进行处理后,除石墨粉末与液体石蜡混合物和纳米级亲金属切削油外,其他润滑冷却介质对杉木表面与新、旧锯片之间摩擦系数的影响均呈明显规律性。

石墨粉末、PTFE 粉末及两者混合物、切削油,可有效减小锯片与杉木之间的摩擦系数。在石墨粉末与 PTFE 粉末混合物作用下,新、旧锯片(无树脂部位和有树脂部位)与杉木表面之间的摩擦系数较未处理时可分别减少 0.11(约 48%)、0.12(约 35%)、0.18(约 51%);纳米级亲金属切削油对旧锯片有树脂部位具有较好的减磨作用,但对新锯片及旧锯片的无树脂部位,并未显示较好的表面润滑效果。

液体石蜡和水性切削液反而增大了锯片与杉木表面之间的摩擦系数,增量在 0.02~0.06 之间。由于水性切削液和液体石蜡黏度相对较低,其作为润滑冷却介质时,锯片和木块表面之间形成光滑的水膜或石蜡油膜,使锯片和木块间的实际接触面积增大,分子吸引力增强,因此摩擦系数增大。

2.1.2 樟子松表面与锯片之间的摩擦系数

表 2 数据表明,未使用润滑冷却介质时,樟子松与新、旧锯片之间摩擦系数的变化趋势与杉木一致,即其与旧锯片之间的摩擦系数相对较大。

采用不同润滑冷却介质对锯片与樟子松表面进行处理后,各种润滑冷却介质对樟子松与新、旧锯片之间摩擦系数的影响趋势,亦与杉木基本一致:在降低锯片与樟子松表面之间的摩擦系数的介质中,石墨粉末与 PTFE 粉末混合的减磨作用最显著,可将新、旧锯片(无树脂部位和有树脂部位)与樟子松表面之间的摩擦系数分别减少 0.11(约 50%)、0.15(约 44%)、0.18(约 53%)。

液体石蜡与石墨粉末混合物及纳米级亲金属切削油,对新、旧锯片摩擦系数没有明显影响趋势。其中,纳米级亲金属切削油对旧锯片有树脂部位具有较好的减磨作用,对新锯片基本无影响,而对旧锯片无树脂部位反而会增大摩擦系数。

液体石蜡和水性切削液,增大了锯片与樟子松表面之间的摩擦系数,增量为 0.02~0.04 之间。

2.1.3 柚木表面与锯片之间的摩擦系数

未处理柚木与新、旧锯片之间摩擦系数的变化趋势,亦同杉木和樟子松。柚木与旧锯片无树脂部位和有树脂部位之间的摩擦系数,比其与新锯片之间的摩擦系数分别增加 38%、36%。

润滑冷却介质对新、旧锯片与柚木表面之间摩擦系数的影响趋于一致:石墨粉末、PTFE 粉末及两者混合物、切削油,均可降低锯片与柚木表面之间的摩擦系数,且以石墨粉末与 PTFE 粉末混合物的减磨作用最佳,使新、旧锯片(无树脂部位和有树脂部位)与柚木表面之间的摩擦系数分别减少 0.1(约 48%)、0.16(约 47%)、0.18(约 55%)。

液体石蜡与石墨粉末混合物、纳米级亲金属切削油等介质对摩擦系数的影响无明显规律。

液体石蜡和水性切削液反而增大了锯片与柚木表面之间的摩擦系数,而且增量相对较大,在 0.04~0.05 之间。

2.2 三种木材与新、旧锯片之间摩擦系数的对比

试验选用 3 种木材的密度、纹理都有差异。当 3 种木材表面未作处理时,其与新、旧锯片之间的摩擦系数差别不大。采用不同润滑冷却介质对试件表面进行处理后,石墨粉末、PTFE 粉末及两者混合物、切削油的减摩作用较显著;液体石蜡和水性切削液,一定程度上增大了木材表面与刀具之间的摩擦系数;而液体石蜡及其与石墨粉末的混合物、纳米级亲金属切削油,对 3 种木材表面与新、旧锯片之间摩擦系数的影响无明显规律。

除液体石蜡及其与石墨粉末混合物外,其他几种润滑冷却介质处理后,杉木与新、旧锯片无树脂部位之间的摩擦系数最大,樟子松次之,柚木最小。

3 种木材表面与旧锯片有树脂部位之间摩擦系数的实测结果显示,材种间差异相对较小,但规律明显。除液体石蜡、纳米级亲金属切削油外,其他润滑冷却介质处理后,亦为杉木与锯片之间的摩擦系数最大,樟子松次之,柚木最小。可能是由于杉木材质较软,表面结构疏松,润滑冷却介质与其接触时,木材与锯片之间部分润滑介质被吸收,或被填充至木材内部,导致摩擦系数较大;而柚木材质较硬,结构致密,润滑冷却介质可以发挥较好的润滑作用。

2.3 润滑冷却介质配比的优化

通过测定木材与锯片之间的摩擦系数,分析得出润滑冷却介质的影响,试验进一步对润滑冷却作用显著的介质进行了配比优化研究。

试验数据显示,石墨粉末与 PTFE 粉末混合配制的润滑冷却介质,降低木材与锯片之间摩擦系数的效果最显著,因此,进一步开展试验探讨两者的优化配比。考虑到石墨为黑色粉末,会影响后续木材涂饰加工的表面质量,因此,应严格控制其用量。

优化试验方法为:选取柚木为测试对象,针对旧锯片有树脂部位进行摩擦试验,将 PTFE 粉末与石墨粉末按不同质量比混合配制 14 份,比值介于(2~250):1 之间,考察以不同比例混合的润滑冷却介质作用时,木材与刀具之间的摩擦系数,并确定介质的优化配比。试验结果见图 2。

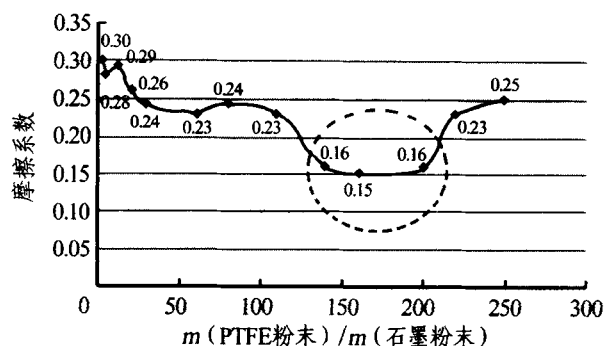


图 2 PTFE 粉末与石墨粉末不同比例混合时柚木与锯片有树脂部位的摩擦系数

Fig. 2 Effect of graphite and PTFE mixture on friction coefficient

图 2 中摩擦系数曲线显示,即当 $m(\text{PTFE 粉末}) : m(\text{石墨粉末}) = (20 \sim 200) : 1$ 时,木材与锯片之间的摩擦系数较小,介于 0.22~0.26 之间;当 PTFE 粉末、石墨粉末的质量比为 $(150 \sim 200) : 1$ 时(如图中虚线圆圈所示),润滑效果最佳,木材与锯片之间的摩擦系数达到最低,比未处理试件的摩擦系数减小约 50%。

3 结论

1) 石墨粉末、PTFE 粉末及两者混合物、切削油等作为润滑冷却介质,均可有效减小锯片与木材表面之间的摩擦系数;液体石蜡、水性切削液等会增大锯片与木材表面之间的摩擦系数;液体石蜡与石墨粉末混合物、纳米级亲金属切削油对锯片与木材表面之间的摩擦系数无明显影响。

2) 同种润滑冷却介质按相同量,分别施加于 3 种不同树种木材与锯片之间时,锯片与木材表面之间的摩擦系数因材种的差异而不同。除个别润滑冷却介质外,锯片与木材表面之间的摩擦系数变化规律趋于一致,均为柚木与锯片之间的摩擦系数较小,樟子松次之,杉木最大。

3) PTFE 粉末与石墨粉末混合配制的润滑冷却介质,减小木材表面与锯片之间摩擦系数的效果显著。以表面粘附有树脂的旧锯片加工柚木为例,当 $m(\text{PTFE 粉末}) : m(\text{石墨粉末}) = (150 \sim 200) : 1$ 时,其润滑效果最好,木材与锯片之间的摩擦系数比对照未处理材可减小约 50%。

(下转第 59 页)

结果表明,对于四组物料,均以1.5份铝酸酯偶联剂作用时的MI值最高,其次为1.5份钛酸酯偶联剂作用的物料,两者比未使用偶联剂时的MI值分别提高22.91、14.53 g/10 min。MI高,则说明物料流动性好,有利于塑料基体覆盖木粉,或流进木材纤维的细胞腔,加强界面间的结合性^[8-9]。

3 结论

1) 在本研究的范围内,尾巨桉木粉的粒径越小,复合物料在挤出过程中的流动性能越差,制备的WPC试样颜色越深,色差越大。综合考虑物料的加工流动性和制品颜色,木粉粒径以45~60目为佳。

2) 以铅盐为热稳定剂的物料,其流动性比添加三种稀土热稳定剂的物料的流动性能差;偶联剂对物料流动性的影响排序为:铝酸酯偶联剂>钛酸酯偶联剂>未使用偶联剂。建议在生产中更多的选用稀土热稳定剂和铝酸酯偶联剂,以改善物料的流动性能,提高产品外观质量和生产效率。

参考文献:

- [1] 木塑复合材料产业现状及发展趋势分析[EB/OL]. (2012-04-13) [2012-07-15]. http://www.polymer.cn/polymernews/2012-4-13/_201241390604387.htm.
- [2] 全球木塑业增长率将达22%[EB/OL]. (2012-04-13) [2012-07-15]. http://www.polymer.cn/polymernews/2012-4-10/_201241010215181.htm.
- [3] 施桢蓉,张中元,陈方. 木塑复合材料挤出技术研究[J]. 工程塑料应用,2007,35(8): 29-32.
- [4] 陈兴华. 木塑复合材料挤出成型研究进展[J]. 应用化工,2011,40(6): 1092-1094.
- [5] 彭万喜,李凯夫,武书彬. 木材抽提物渗透屏障原理[M]. 北京: 化学工业出版社,2010: 1-3.
- [6] 段新芳,常德龙,李增超. 木材颜色调控技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社,2002: 20-23.
- [7] 周持兴. 聚合物流变实验与应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社,2003: 9-123.
- [8] 李兰杰,刘得志,陈占勋. 木粉粒径对木塑复合材料性能的影响[J]. 现代塑料加工应用,2005,17(5): 21-24.
- [9] 许家友. 木粉粒径对PVC/木塑复合材料力学性能的影响[J]. 塑料制造,2009(5): 73-75.

(责任编辑 向琴)

(上接第55页)

4) 试验结果可为木材加工中润滑冷却介质的研发、制备与使用提供参考。在具体应用时,还需结合木材本身的材质特性和实际机械加工情况,且在不影响木材后续加工的前提下,合理选择润滑冷却介质。

参考文献:

- [1] 韩荣弟. 切削难加工材料的新型绿色高效冷却润滑技术[J]. 航空制造技术,2009(13): 44-47.
- [2] 邓建新,葛培琪,艾兴. 切削加工润滑技术及展望[J]. 摩擦学报,2003,23(6): 546-550.
- [3] V Fox, A Jones, NM Renevier, et al. Hard lubricating coatings for cutting and forming tools and mechanical components[J]. Surface and Coatings Technology,2000,125(1/3): 347-353.
- [4] 郝俊英,翁立军,孙嘉奕,等. 固体-油脂复合润滑 I: 二硫化钼膜在干摩擦及空间用油脂润滑下的摩擦学性能[J]. 摩擦学学报,2010,30(2): 106-110.
- [5] 黄伊辉,李芬芳,尤建伟,等. 离子液体用作润滑剂的研究进展

[J]. 润滑油,2010,25(1): 4-10.

- [6] Ichiro Minamil, Hideto Kamimura, Shigeyuki Mori. Thermo-oxidative stability of ionic liquids as lubricating fluids [J]. Journal of Synthetic Lubrication,2007,24(3): 135-147.
- [7] Jones W R, Shogrin B A, Jansen M J. Research on liquid lubricants for space mechanisms [J]. Journal of Synthetic Lubrication,2000,17(2): 109-122.
- [8] Hideto Kamimura, Tomoo Kubo, Ichiro Minamik, et al. Effect and mechanism of additives for ionic liquids as new lubricants [J]. Technology International,2007,40(4): 620-625.
- [9] 胡萍,姜明,汪巍,等. PTFE 基固体润滑剂结晶度、冷却工艺及摩擦性能相关性研究[J]. 润滑与密封,2006(2): 96-97.
- [10] 高玉飞,葛培琪,李少杰,等. 切削液对金刚石线锯切割单晶硅片质量的影响[J]. 武汉理工大学学报,2008,30(8): 86-88.
- [11] 孙之甫. 精密润滑冷却系统在铜锯切生产中的应用[J]. 有色设备,2007(2): 33-35.
- [12] 彭政,王璐珠,蒋亦民. 颗粒物质与固体交界面静摩擦系数的测量与分析[J]. 山东大学学报,2011,46(1): 42-45.

(责任编辑 向琴、孟凡丹)

欢迎订阅 2013 年《木材工业》杂志,邮发代号 2-311
全国各地邮局均可办理订阅,也可联系本刊办理订阅